

Анализ фазовых превращений в хромоциркониевой бронзе при обработке методом равноканального углового прессования

Фаизов Ильшат Альбертович

Рааб Георгий Иосифович, Фаизова Светлана Никитична, Аксенов Денис Алексеевич
Уфимский государственный авиационный технический университет

Рааб Георгий Иосифович, д.т.н.

E-mail iafaiz@mail.ru

Измельчение структуры металлических материалов методами интенсивной пластической деформации (ИПД) – перспективный подход к повышению их функциональных свойств. В частности, это относится к сплавам электротехнического назначения системы Cu-Cr-Zr, относящимся к дисперсионно-твердеющим. Промышленная технология изготовления заготовок сплавов этого класса включает три стадии: закалка из расплава с целью создания пересыщенного твердого раствора легирующих элементов, холодная деформация, создающая дислокационное упрочнение, и термическое старение, вызывающее выделение упрочняющих частиц. Использование ИПД на этапе холодного деформирования приводит к измельчению кристаллической структуры до субмикрометрических и нанометрических размеров и повышает прочность сплава на 30-40% по сравнению с традиционной технологией [1]. Такое упрочнение принято объяснять в первую очередь высокой плотностью дислокаций и, как следствие, уменьшением размера кристаллитов, то есть эффектом Холла-Петча. Вклад дисперсионного упрочнения предполагается независимым от характера деформационной обработки, то есть его значение определяется на стадии закалки концентрацией твердого раствора легирующих элементов.

Существует экспериментальные данные, доказывающие, что ИПД, кроме структурных изменений, способна вызывать диффузионные фазовые превращения, являющиеся аномальными с точки зрения равновесных фазовых диаграмм [2]. Наиболее полно этот эффект изучен для модельного сплава Fe-36Ni и некоторых сталей [3-5]. В последнее время получены экспериментальные доказательства деформационно-индуцированного растворения частиц вторых фаз в сплаве Cu-1Cr-0,7Zr-0,2Al при ИПД-обработке методом равноканального углового прессования (РКУП) [6-8]. Поскольку промышленные сплавы содержат такие частицы даже в закаленном состоянии, данный эффект повышает концентрацию твердого раствора и увеличивает вклад дисперсионного упрочнения.

В данной работе представлены результаты исследования особенностей формирования высокопрочного состояния сплава Cu-1Cr-0,7Zr-0,2Al. За основу обработки взята традиционная трехстадийная обработка данного класса сплавов, где на этапе деформирования используется равноканальное угловое прессование (РКУП) с последующей обработкой кузнечной протяжкой (КП) и волочением (В). Показано, что применение комплексной обработки с использованием РКУП на этапе холодной деформации позволяет получить высокопрочное состояние с пределом прочности в 1,7 раза превышающим показатели образца после ПО.

Исследование структуры показало, что формируется ультрамелкозернистое состояние со средним размером фрагментов 200-240 нм. Анализ эволюции ансамбля частиц вторых фаз указывает на присутствие процессов как деформационно-стимулированного растворения, так и деформационно-индуцированного распада твердого раствора. Одновременное протекание этих кинетически-противоположных процессов приводит к перераспределению легирующих элементов в медной матрице на этапе ИПД и повышению концентрации легирующих элементов в твердого раствора (ТР) по сравнению с состоянием после закалки – пересыщенного ТР. Следующее за деформационной обработкой старение приводит к распаду пересыщенного твердого раствора, образованного при ИПД, и формированию ультрамелкозернистой структуры с мелкими, плотно расположенными частицами вторых фаз.

Из расчета вкладов различных механизмов упрочнения в условный предел текучести видно, что, наряду с повышением вклада зернограницного упрочнения, происходит значительное увеличение дисперсионного упрочнения. По сравнению со стандартной промышленной обработкой (ПО) абсолютное значение вклада дисперсионного упрочнения возросло в два раза (рис. 1).

Таким образом, благодаря структурным и фазовым превращениям, происходящим в процессе ИПД в сплаве Cu-1Cr-0,7Zr-0,2Al, происходит не только формирование ультрамелкозернистой структуры, но и перераспределение мелкодисперсных (менее 10 нм) частиц вторых фаз. В результате в сплаве формируется высокопрочное состояние с пределом прочности ~700 МПа при сохранении электропроводности ~85 % от электропроводности чистой меди.

Изготовление образцов методом РКУП выполнено за счет гранта РНФ (проект № 14-19-01062) в ФГБОУ ВО «УГАТУ», структурные исследования - за счет проекта РФФИ №14-08-97058 р_поволжье_a, теоретические расчеты - на средства проекта РФФИ № 16-08-01290 А.

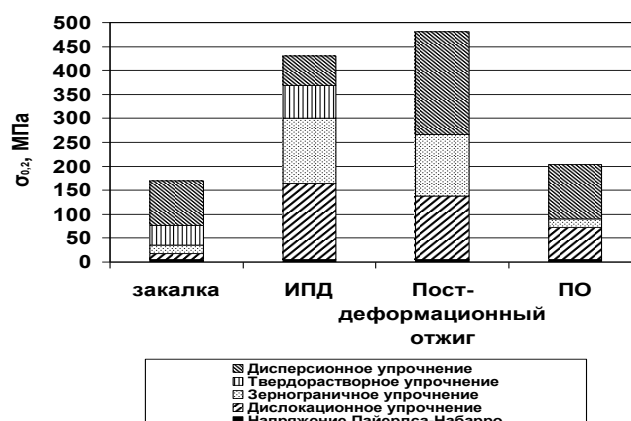


рис. 1. Совокупный вклад в упрочнение различных механизмов в процессе обработки сплава

Список публикаций:

- [1] Матвеев В. И. // ЖЭТФ. 2003. Т. 124. № 5(11). С. 1023.
- [2] Есеев М. К., Матвеев В. И. // Физический вестник Поморского университета. Архангельск: \ 2006. № 4. С.35.
- [3] Valiev R. Z. // Materials Transactions. 2014. V. 55, No.1. P. 13-18.
- [4] Straumal B. // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2014. V. 14, № 2. P. 242-249.
- [5] Сагарадзе В.В. // ФММ. 1988. Т.66, №2. С. 328-338.
- [6] Дерягин А.И. // Физика и техника высоких давлений. 2010, Т.20, № 2. С. 115-132.
- [7] Шабашов В.А. // Вопросы материаловедения. 2008. N 3(55). С. 169-179.
- [8] Фаизова С.Н. // Упорядочение в минералах и сплавах. 12-й международный симпозиум. Ростов-на-Дону, 2009. Т.1. С.13-17.
- [9] Фаизов И.А. // Вестник Тамбовского универ-та. Серия Есте-ыеи техн-ие науки. Физика. 2016. Т.21, №3. С. 1387-1391.
- [10] Фаизов И.А. // Письма о материалах. 2016. Т.6, №2. С. 132-137.

О катодном наводороживании циркониевого сплава Э125

Фукалов Владислав Александрович

Удмуртский государственный университет

Бурнышев Иван Николаевич, к.т.н.

vladislav.fukaloff@yandex.ru

Циркониевые сплавы широко используются в качестве материала для оболочек твэлов. В процессе работы АЭС из теплоносителя, которым является вода, при высоких температурах выделяется водород, который проникает в оболочки твэлов, что может негативно сказаться на его свойствах. Накопление водорода до критических значений может привести к аварийной ситуации. В реакторной технологии перспективным методом обнаружения коррозионного растрескивания и контроля сварных соединений считается акустическая эмиссия (АЭ).

В работе были проведены исследования методом АЭ процесса катодного наводороживания циркониевого сплава Э125. Наводороживание осуществляли при различных плотностях катодного тока в электролитической ячейке в растворе электролита, содержащем 1N раствор H_2SO_4 с добавкой 1,5 г/л тиомочевина $CS(NH_2)_2$ для ускорения процесса наводороживания. Размеры наводороживаемых образцов составляли 150x10x2мм, для удаления оксидных пленок образцы перед насыщением травили в 5% растворе плавиковой кислоты HF. В процессе насыщения образцов водородом АЭ регистрировалась на приборе АФ-15. Датчиком служил широкополостной пьезоэлектрический преобразователь ПЭП113 с рабочим диапазоном частот от 200 до 1000 кГц, Величина погружения образцов составляла 20x10x2мм. Помимо регистрации АЭ, отвечающей, по нашему мнению, за процессы: диффузии водорода в образце, образования микротрещин и гидридов, шума от выделения газовых пузырьков на аноде и катоде в процессе наводороживания, были проведены: измерения микротвердости (метод Виккерса), испытания на фреттинг-изнашивание наводороженных образцов на многофункциональной испытательной установке SRV Test system, рентгеноструктурный анализ и определение концентрации водорода на газоанализаторе G8 Galileo H Bruker.

Кинетика изменения активности АЭ в процессе наводороживания при плотности тока $j=400 \text{ mA/m}^2$ для различных уровней дискриминации приведена на рис.1. При низких уровнях дискриминации (16-24 дБ) в начальный момент наводороживания основной вклад в АЭ вносят процессы выделения газов на поверхностях катода и анода, дальнейший рост акустической активности может означать проникновение водорода в образец. Немонотонный характер АЭ при высоких уровнях дискриминации (28-31 дБ) обусловлен такими процессами как образование гидридов. Повышение плотности катодного тока приводило к возрастанию активности АЭ.